

軟弱砂泥岩互層邊坡坍塌整治案例-土牆工法

一、 工程概述

1.1 工程概述

本案例發生於台灣北部新竹地區某段公路新建期間。依原設計，該開挖邊坡共分兩階開挖，每階最大坡高 10 公尺，坡度 1:1.5(V:H)，平台寬 3 公尺。民國 80 年 8 月上旬，當完成第二階約 5 公尺高之切坡開挖，並已設置格床卵礫石護坡，正向下進行第一階段開挖時，由於坡面泥岩層因開挖而出露，同時又逢連續暴雨，雨水大量由坡面入滲至泥岩層，造成泥岩層軟化，儘管泥岩層面視傾角低於 10 度，仍發生坡面坍塌，坡頂下陷約 1 公尺。考量當時該工程施工條件，決定採用土牆(Earth Buttress)工法作為邊坡穩定措施。

1.2 區域地質

本案例邊坡整治路段接近向斜軸部，地層傾角約 10 度左右，邊坡呈順向坡地形，其地層主要由上新世晚期之卓蘭層砂岩泥岩互層與其上覆之更新世晚期之紅土礫石層所組成，其中泥岩厚度不超過 1 公尺。本邊坡施工前地表曾經發生坍塌，崩積層物質包括表土、受擾動之風化砂岩、紅土及礫石。

1.3 岩石之物理與工程性質

依據地質調查結果，本路段泥岩之基本物理性質如表 1 所示，其粉土含量超過 50%，在塑性分類上屬於低塑性粘土。至於泥岩之力學性質，根據試驗室以岩心預切成二片岩樣在不浸水之情況下進行之岩石反覆直接剪力試驗結果顯示，泥岩剪力強度參數之有效凝聚力等於零，尖峰摩擦角介於 29 至 35 度之間，而殘餘基本摩擦角則介於 22 至 27 度之間。另由現場在向斜軸鄰近已崩坍之滑動面上截取之岩樣(包含泥岩滑動面)進行之岩石反覆直接剪力試驗結果，剪力強度參數之有效摩擦角隨不同的正向應力及位移量而變化，正向應力愈大，則有效摩擦角愈小，且位移量愈大，有效摩擦角亦愈小。當位移量約為 50mm 時， $\tan \phi'$ 則降至約 0.17 之臨界值，相對之有效摩擦角約為 10 度。此外，由本路段 9 個崩坍邊坡案例滑動面之剪力強度反推算分析(Back-Analysis)結果顯示，泥岩之有效殘餘摩擦角介於 10 至 17.5 度之間。

二、 設計與施工之問題點

本案例於調查階段，由於表土或崩積土之覆蓋較厚等因素而無法獲得足夠具代表性之岩層露頭，導致褶皺構造位置研判上產生偏差，以致實際施工時開挖坡面出露之岩層位態與調查時所推估之位態不一致。實際泥岩層視傾角大於原先之推估值，又逢連續暴雨，使原設計之安全性不足而發生邊坡失穩問題。同樣的，在本路段中尚有其他因軸部位置的變化而產生的邊坡穩定問題。例如背斜軸位置之偏差，使原推估之逆向坡面變成順向坡面(圖 1)，且因背斜軸線附近之岩盤節理較發達且較破碎，這些節理因開挖而形成滑動體之頂部裂隙，於雨水入滲後，更易使砂岩與泥岩之界面發生坍塌破壞；向斜軸與路塹之交角較原設計階段所研判之角度為小，

甚至路塹恰位在向斜軸上，以致地下水往向斜軸部匯集，使路塹邊坡之地下水壓升高，並因地下水豐沛而使泥岩更易軟化，除增加路基排水之困難外，亦造成更多之順向坡滑動問題(圖 2)。

三、解決方案

由於本案例發生時正值土方工程全面進行，施工空間相當足夠，而且施工機具亦容易調度。於研擬解決方案時，主要考量點有兩個，一為儘量利用沿線土方材料及原有崩塌材料進行回填(就地取材)，避免棄土問題；另一則為該結構物須足以抵抗邊坡的滑動力。基於這兩個考量決定採用土牆作為邊坡穩定設施。

基本上，土牆之設計構想係採回填夯實之方式，將軟弱泥岩置換成強度較高之夯實土壤，並形成一類似重力式擋土牆之土體，以抵抗邊坡之滑動。土牆與一般之剛性混凝土重力式擋土牆相較，由於其單位重及剪力強度均較混凝土小，因此其用以抵抗邊坡滑動而所需之尺寸較混凝土牆大。土牆一般多用於邊坡坍塌後之整治，主要係考量邊坡坍塌後之地形勢必要重新修整，而利用整坡之同時，將坍塌物(包括土、石)重新回填夯實，其形狀可與鄰近之原有邊坡相互調和，除可達到邊坡擋土穩定之目的外，亦可達整地與景觀美化之功效。

本案例於土牆施工期間為減低對現地邊坡的擾動，採用跳島式分段開挖進行施工，完成之剖面示意圖如圖 3 所示。其主要施工順序如下：

- (1) 以跳島方式分段進行開挖(照片 1)，
- (2) 清除土牆下方出露之潛在泥岩滑動弱面，
- (3) 於背面及底部設置完善之排水層，
- (4) 嚴格要求填土之滾壓夯實，
- (5) 坡面進行植生護坡並設置排水系統。

四、結論與建議

本案例所採用土牆工法之主要特色，係利用沿線土方材料及原有崩塌材料進行回填，避免棄土問題，其表面於植生綠化後之外觀與自然邊坡無異(照片 2)，較一般 RC 結構更能符合景觀之要求，且其費用較為經濟，工期一般亦較短。

依據土牆工法於本路段工程構築期間，實際應用於軟弱砂泥岩邊坡崩塌整治之設計與施工經驗，於設計與施工應注意以下之事項：

- (1) 開挖時應採分段跳島開挖方式，清除並開挖已坍塌之邊坡至土牆設計背面，使土牆有足夠之斷面尺寸，牆背坡度必須考量開挖面之臨時穩定安全。位於土牆下方出露之泥岩弱面，應以完全清除為原則。如果泥岩層厚度過厚，則應視情況加深土牆深度。
- (2) 土牆背面及底面之排水層能否有效排除牆背之地下水，以維持牆體之設計強度，將是土牆工法設計施工成功與否的關鍵之一。因此牆背面及底面必須設置完善之排水層，以將牆背泥岩層匯集之地下水疏排至牆趾之排水溝，避免地下

水滲入土牆內降低土牆之有效抗剪應力。排水層須設置適當之濾層，以避免細粒料滲入並阻塞排水層而影響其排水功能

- (3) 土牆應分層回填夯實，並符合夯實之要求，以達到分析設計所採用之剪力強度。若因地權限制，使土牆斷面不足時，則可考慮於土牆內鋪設加勁材料(如地工合成材料)，使牆面坡度加大，增加牆體重量，使作用於加勁材料與夯實回填土層間之有效正向應力增加，以提高牆體之強度與穩定效果。若因施工條件(如天候、施工空間)無法進行大規模土方工程時，亦可考慮以石籠取代夯實之土方材料，並於石籠表面填土植生。
- (4) 土牆回填完成後，應立即進行坡面植生保護，並設置坡頂截流溝、平台溝及坡面跌水溝等水土保持措施，以減少地表逕流入滲至土牆內與避免地表逕流沖蝕坡面。

參考文獻

顏東利、陳俊樺、秦中天、張文城(1999)，"軟弱砂泥岩互層岩盤之公路邊坡整治案例探討"，地工技術，第 72 期，第 13-22 頁。

王建元、顏東利(1996)，"土牆於軟弱砂泥岩互層邊坡崩坍整治之應用"，1996 年岩盤工程研討會論文集，第 303-311 頁。

顏東利、王建元、郭文祥、鄭富書(1994)，"軟弱砂泥岩互層岩盤之邊坡問題與穩定工法"，1994 年岩盤工程研討會論文集，第 399-408 頁。

【作者：顏東利、胡逸舟、黃清輝】

【服務單位：亞新工程顧問股份有限公司】

表 1. 本路段沿線卓蘭層泥岩之基本性質

粒徑分佈	砂土(>0.074mm)	0
	粉土(0.005mm~0.074mm)	64±4 %
	粘土(<0.005mm)	34±4 %
阿太堡限度	液性限度(LL)	33±8 %
	塑性限度(PL)	20±3 %
	塑性指數(PI)	13±6 %
土壤顆粒比重(Gs)		2.64±0.04
自然含水量(w _n)		14.2±4.2 %
濕單位重(γ _t)		2.21±0.06 t/m ³
乾單位重(γ _d)		1.94±0.05 t/m ³
孔隙比(e)		0.44±0.07
飽和度(S)		80±20 %

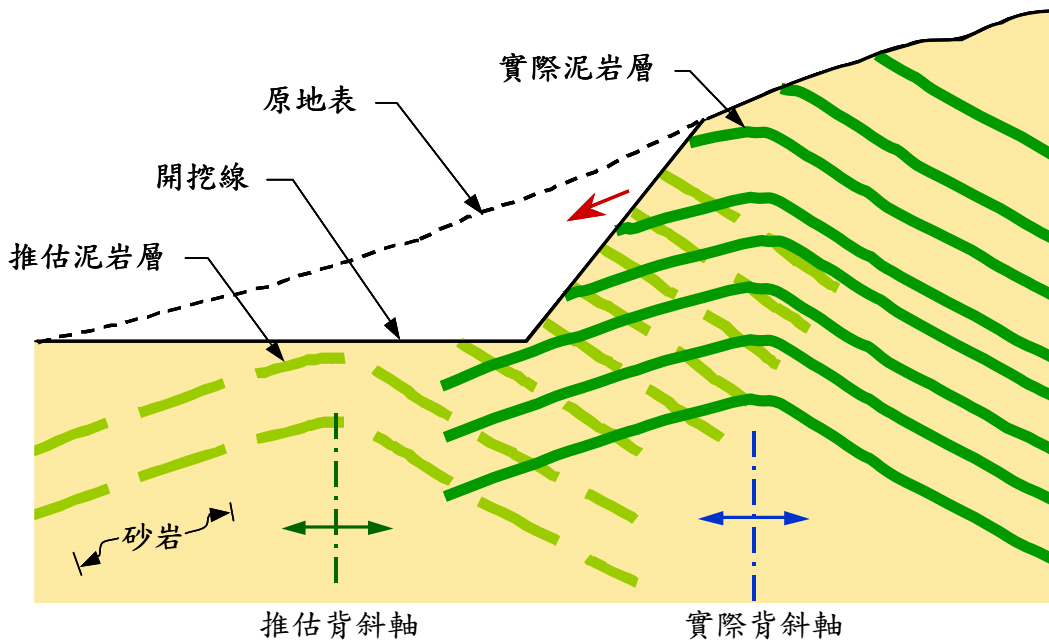


圖 1. 背斜軸位置調查偏差引致之邊坡穩定問題示意圖

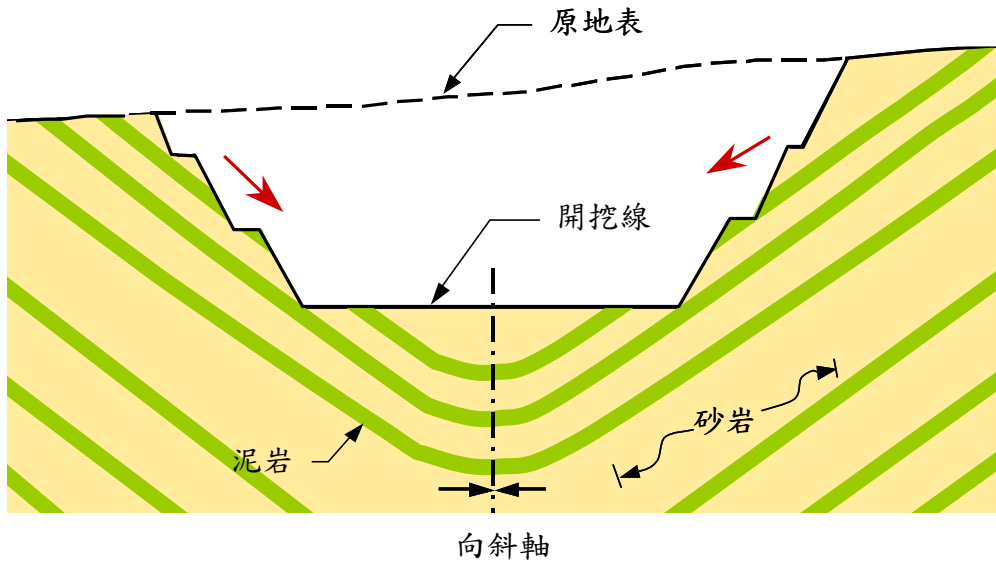


圖 2. 向斜軸部路塹引致之邊坡穩定問題示意圖

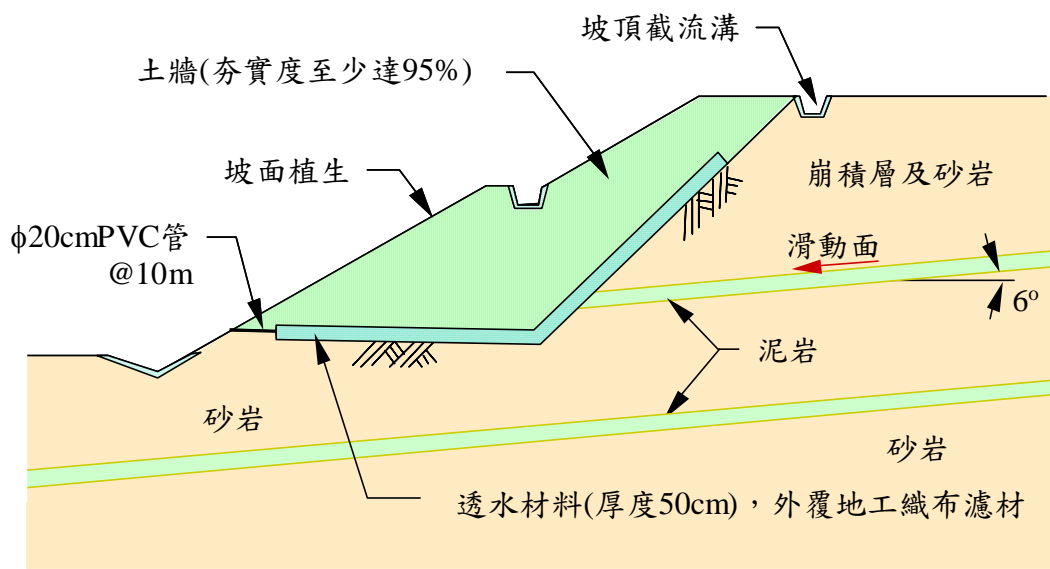


圖 3. 土牆完工剖面示意圖



照片 1. 土牆分段式跳島開挖施工情形(深灰色部分為泥岩)



照片 2. 土牆邊坡完工後情形